

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-246638
(P2003-246638A)

(43) 公開日 平成15年9月2日(2003.9.2)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テ-マコード(参考) |
|---------------------------|------|---------------|-------------|
| C 0 3 B 33/08 | | C 0 3 B 33/08 | 4 E 0 6 8 |
| B 2 3 K 26/00 | | B 2 3 K 26/00 | G 4 G 0 1 5 |
| C 0 3 C 4/08 | | C 0 3 C 4/08 | 4 G 0 6 2 |
| G 0 2 B 3/00 | | G 0 2 B 3/00 | Z |

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2002-45667(P2002-45667)

(22) 出願日 平成14年2月22日(2002.2.22)

(71) 出願人 000004008

日本板硝子株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

(72) 発明者 小用 広隆

大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

(72) 発明者 常友 啓司

大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

(74) 代理人 100069084

弁理士 大野 精市

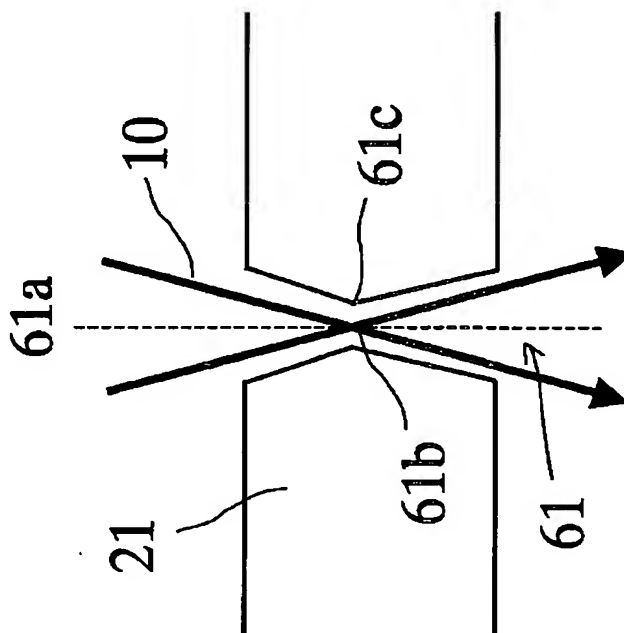
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガラス構造物およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザ加工により、ガラス基板に貫通孔を開け、さらにその壁面のテーパ角を調整するなど、ガラス内部に及ぶ3次元的加工を高い自由度をもって行うことは、従来、困難であった。本発明は、ガラス基板に自由度の高い形状の貫通孔や窪みを形成したガラス構造物を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明のガラス構造物は、ガラス基板の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、ガラス基板の当該部分を除去することにより製造する。ガラス基板は、レーザ光のエネルギーを吸収するチタン、鉄、バナジウム、ビスマス、鉛、タリウム、スズ、セリウム、ロジウム、コバルトなどを含有し、レーザ光1パルス当たり1.0 J/cm²以下の加工エネルギーしきい値を有している。このようなガラス基板21を用いることにより、レーザ光10の照射により各種の断面形状を有する貫通孔61や窪みをもつガラス構造物が形成できる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 平行平板状ガラス基板に厚み方向に貫通する孔が形成されたガラス構造物において、前記孔の前記ガラス基板表面に平行な断面形状が前記ガラス基板の一方の表面から他方の表面に至る間で変化していることを特徴とするガラス構造物。

【請求項 2】 前記断面形状の面積が、前記ガラス基板の一方の表面から他方の表面に向かって単調に減少していることを特徴とする請求項 1 に記載のガラス構造物。

【請求項 3】 前記断面の面積が、前記ガラス基板の両表面間で極小値を有することを特徴とする請求項 1 に記載のガラス構造物。

【請求項 4】 前記断面形状の重心を結ぶ線が、前記ガラス基板の一方の表面から他方の表面に至る間で直線であり、かつ前記ガラス基板の表面に対する法線に対して傾斜していることを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載のガラス構造物。

【請求項 5】 前記断面形状の重心を結ぶ線が屈折した直線もしくは曲線であることを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載のガラス構造物。

【請求項 6】 前記断面形状が、前記ガラス基板の一方の表面から他方の表面に至る間で相似形であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 に記載のガラス構造物。

【請求項 7】 平行平板状ガラス基板に厚み方向に窪みが形成されたガラス構造物において、前記窪みの前記ガラス基板表面に平行な断面形状が前記ガラス基板の表面から前記窪みの底面近傍に至る間で変化していることを特徴とするガラス構造物。

【請求項 8】 前記断面形状の面積が、前記ガラス基板の表面から前記窪みの底面近傍に向かって単調に減少していることを特徴とする請求項 7 に記載のガラス構造物。

【請求項 9】 前記断面形状の面積が、前記ガラス基板の表面から前記窪みの底面近傍に至る間で極小値を有することを特徴とする請求項 7 に記載のガラス構造物。

【請求項 10】 前記断面形状の重心を結ぶ線が、前記ガラス基板の表面から前記窪みの底面近傍に至る間で直線であり、かつ前記ガラス基板の表面に対する法線に対して傾斜していることを特徴とする請求項 7、8 または 9 に記載のガラス構造物。

【請求項 11】 前記断面形状の重心を結ぶ線が屈折した直線もしくは曲線であることを特徴とする請求項 7、8 または 9 に記載のガラス構造物。

【請求項 12】 前記断面形状が、前記ガラス基板の表面から前記窪みの底面近傍に至る間で相似形であることを特徴とする請求項 7 ないし 11 に記載のガラス構造物。

【請求項 13】 前記ガラス基板の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、前記ガラス基板の当該部分をアブレーションもしくは蒸発によって除去することにより

製造された請求項 1 ないし 12 に記載のガラス構造物。

【請求項 14】 前記ガラス基板が、前記レーザ光のエネルギーを吸収する 1 種類以上の元素を均一に含有していることを特徴とする請求項 13 に記載のガラス構造物。

【請求項 15】 前記元素がチタン、鉄、バナジウム、ビスマス、鉛、タリウム、スズ、セリウム、ロジウム、コバルトのうちの少なくともいずれか 1 つであることを特徴とする請求項 14 に記載のガラス構造物。

【請求項 16】 前記ガラス基板が、レーザ光パルス当たり 1.0 J/cm^2 以下の前記レーザ光の加工エネルギーしきい値を有することを特徴とする請求項 15 に記載のガラス構造物。

【請求項 17】 平行平板状ガラス基板の一方の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、アブレーションあるいは蒸発によって当該部分を除去するガラス構造物の製造方法において、前記レーザ光のエネルギーを製造過程において連続的にもしくは断続的に変化させることを特徴とするガラス構造物の製造方法。

【請求項 18】 平行平板状ガラス基板の一方の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、アブレーションあるいは蒸発によって当該部分を除去するガラス構造物の製造方法において、前記レーザ光のガラス基板上の照射位置におけるビームスポット径を製造過程において連続的にもしくは断続的に変化させることを特徴とするガラス構造物の製造方法。

【請求項 19】 前記レーザ光の光源とガラス基板の距離を変化させる請求項 17 または 18 に記載のガラス構造物の製造方法。

【請求項 20】 前記レーザ光照射時にガラス基板表面近傍にマスクもしくは絞りを配設し、該マスクまたは絞りの開口面積を変化させる請求項 17 または 18 に記載のガラス構造物の製造方法。

【請求項 21】 平行平板状ガラス基板の一方の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、アブレーションあるいは蒸発によって当該部分を除去するガラス構造物の製造方法において、前記レーザ光をガラス基板の法線に対して傾斜した方向から照射し、かつ前記レーザ光の光軸に対して前記ガラス基板を回転させることを特徴とするガラス構造物の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、貫通孔や窪みを有するガラス構造物に関し、とくにレーザ光照射によって製造されるガラス構造物およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信等に用いる光学部品やディスプレイ装置に組み込むマイクロレンズとしてガラス基板に微細加工を施したガラス構造物が用いられている。このようなガラス基板に微細加工を施す方法としては、従来、

フッ酸等のエッチング液を用いたウェットエッチング、あるいは反応性イオンエッチング等のドライエッチングが一般的に用いられてきた。

【0003】しかしながら、ウェットエッチングにあつては、エッチング液の管理と処理の問題があり、ドライエッチングにあつては真空容器等の設備が必要となり装置自体が大がかりとなる。さらにこれらのエッチング方法においては、複雑なフォトリソグラフィー技術によってパターンマスク等を形成しなければならず効率的でないという問題もあった。

【0004】他方、レーザ光を材料に照射し、加熱、熔融、蒸発、アブレーションなどの物理的変化を起こし、その変化を利用する直接加工も進展している。レーザ技術の発展により、レーザパルス幅の短縮化、短波長化が実現され、ポリイミド等の有機物や金属の加工においてはマイクロメートルオーダーで加工が進められている。レーザ光は極めて小さなスポットに絞ることができるので、微細加工に適している。

【0005】しかしながら、ガラスは脆性材料であるため、加工時にクラックが発生しやすい。そのため微細加工の用途にレーザ加工を用いることは容易でなかった。このような問題を解決するため、例えば特開平11-217237号公報に開示されているように、ガラスに銀をイオン交換で導入することにより、レーザの加工しきい値を低減させ、クラック等の発生を抑制したガラスの微細加工技術も開発されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、多くのアルカリ金属を含むガラスでは、イオン交換によって銀イオンを内部に導入できるものの、銀イオンはガラス表面近傍で還元され、ガラス内部への拡散が阻害されるという現象が生じる。このため有効なレーザ加工領域がガラス表面近傍に限られる。このため、ガラス基板に貫通孔を開け、さらにその壁面のテーパ角を調整するなど、ガラス内部に及ぶ3次元的加工を高い自由度をもって行うことは依然として困難である。

【0007】また、たとえガラス表面近傍で銀イオンが還元されず、ガラス内部まで銀イオンが拡散できる場合でも、銀イオンはガラス表面から拡散過程によりガラス中に導入されるので、必ずガラス表面の銀イオン濃度が高くなり、ガラス内部の銀イオン濃度をガラス表面と同程度まで上昇させるには、非常に長時間の処理が必要となるため生産性の点でも問題がある。

【0008】本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、ガラス基板に自由度の高い形状の貫通孔や窪みを形成したガラス構造物およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明によって提供されるガラス構造物は平行平板状ガラス基板に厚み方向に貫

通する孔もしくは窪みが形成されたものである。形成する孔が、ガラス基板を貫通しない場合を以下、「窪み」と言う。

【0010】貫通孔においてはガラス基板表面に平行な断面形状が、このガラス基板の一方の表面から他方の表面に至る間で変化しているのが特徴である。この変化の一態様としては、断面形状の面積が、前記ガラス基板の一方の表面から他方の表面に向かって単調に減少している場合がある。他の態様として、ガラス基板の両表面間で極小値を有する場合がある。

【0011】上記の態様において各断面形状の重心を結ぶ線が、ガラス基板の一方の表面から他方の表面に至る間で直線であり、かつガラス基板の表面の法線に対して傾斜していることを特徴とする場合がある。また、断面形状の重心を結ぶ線が屈折した直線もしくは曲線であることを特徴とする場合もある。また、断面形状の特別な場合として、ガラス基板の一方の表面から他方の表面に至る間で相似形である場合がある。

【0012】窪みにおいてもガラス基板表面に平行な断面形状が、このガラス基板の一方の表面から窪みの底面近傍に至る間で変化しているのが特徴である。窪みについても貫通孔と同様な態様がある。ただし、窪みの底面は形状についての特異部分であり、この底面を除いた底面近傍までの形状で特徴を規定する。

【0013】形状変化の一態様としては、断面形状の面積が、前記ガラス基板の一方の表面から窪みの底面近傍に向かって単調に減少していることを特徴とする場合がある。他の態様として、ガラス基板の一方の表面と窪みの底面近傍の間で極小値を有することを特徴とする場合がある。

【0014】上記の態様において各断面形状の重心を結ぶ線が、ガラス基板の一方の表面から窪みの底面近傍に至る間で直線であり、かつガラス基板の表面の法線に対して傾斜していることを特徴とする場合がある。また、断面形状の重心を結ぶ線が屈折した直線もしくは曲線であることを特徴とする場合もある。また、断面形状の特別な場合として、ガラス基板の一方の表面から窪みの底面近傍に至る間で相似形である場合がある。

【0015】上記のガラス構造物は、ガラス基板の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、ガラス基板の当該部分をアブレーションもしくは蒸発によって除去することにより製造するのが望ましい。その場合、ガラス基板は、レーザ光のエネルギーを吸収する1種類以上の元素を均一に含有していることが望ましい。

【0016】この元素は、チタン、鉄、バナジウム、ビスマス、鉛、タリウム、スズ、セリウム、ロジウム、コバルトのうちの少なくともいずれか1つであることが好ましい。このガラス基板は、レーザ光1パルス当たり1.0 J/cm²以下の加工エネルギーしきい値を有することがとくに好ましい。

【0017】上記のガラス構造物はつぎのような方法によって製造するのが望ましい。第1の方法は、平行平板状ガラス基板の一方の表面の限定された部分にレーザ光を照射し、アブレーションあるいは蒸発によって当該部分を除去する際に、レーザ光のエネルギーを製造過程において連続的にもしくは断続的に変化させる。

【0018】第2の方法は、レーザ光のガラス基板上の照射位置におけるビームスポット径を製造過程において連続的にもしくは断続的に変化させる。

【0019】上記第1、第2の方法はレーザ光の光源とガラス基板の距離を変化させることによるのが望ましい。あるいはレーザ光照射時にガラス基板表面近傍にマスクもしくは絞りを配設し、マスクまたは絞りの開口面積を変化させるのが望ましい。

【0020】さらに第3の方法は、レーザ光をガラス基板の法線に対して傾斜した方向から照射し、かつレーザ光の光軸に対してガラス基板を回転させる。

【0021】本発明によれば、イオン交換せずに溶融時にガラス中に導入でき、且つ、レーザ光エネルギーを吸収して加工しきい値を低くするような元素を均一に含んだレーザ加工用ガラスを被加工物とするので、ガラスの内部においても良好な加工性が得られ、その結果、ガラス内部においても形状制御性がよくなり、3次元的に自由度の高いガラス加工物が得られるようになる。

【0022】また、本発明の製造方法によれば、3次元的に照射するレーザ光のエネルギーを制御すれば、所定の3次元形状を有するガラス構造物が容易に制御性良く製造できるようになる。

【0023】3次元的に自由度の高い複雑なガラス加工物を得るには、レーザ光が発振されてから試料に照射されるまでに通過する光学系も複雑になり、レーザ光のエネルギーは大幅に減衰する。大出力レーザを使用せずに、より汎用のレーザ光源で加工を行おうとすれば、加工しきい値は低いほど望ましい。現状では上記のようにレーザ光パルス当たり 1.0 J/cm^2 以下であると使用できるレーザの範囲が広げられる効果がある。

【0024】本発明では、レーザ加工用ガラスに、チタン、鉄、バナジウム、ビスマス、鉛、タリウム、スズ、セリウム、ロジウム、コバルトのうちの少なくともいずれか1つを含ませた。これは、これらの元素が、本発明で使用しているレーザ光の波長範囲に大きな吸収を持っているため、ガラスのレーザ加工しきい値を下げる効果を有する。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明の要旨は、ガラスを3次元的に自由に加工できるようにすることにある。以下、本発明を用いた実施例を示すが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0026】レーザ光照射によるガラス基板の加工は図1に示すようなレーザ光照射装置1を用い、以下のよう

にして行った。レーザ光源12から出射されたレーザ光10はレンズ（図示しない）で絞られてステージ24上の基板ホルダー22に固定したガラス基板20に照射される。アッテネータ50は、それを通過するレーザ光のエネルギーを変える装置であり、マイクロメータを操作することにより、通過するレーザ光のエネルギーを調整することができる。レーザ光10はこのアッテネータ50でパワーを調整してガラス基板20に照射した。

【0027】ステージ24、レーザ光の光軸と平行な方向に1軸、レーザ光の光軸に垂直な面内に2軸の3次元的に自由に移動させることができるステージである。移動は電気信号によって行うことができ、予め定めたように制御が可能である。この他に、レーザ光の光軸方向と平行な方向に移動でき、さらに基板を回転することができるステージを用いた。これについては後述する。


【0028】また、基板ホルダー22はレーザ光の光軸方向に対して自由に傾けることができる。レーザ光の種類は、レーザ光源12を変えることで、Nd:YAGレーザの第3高調波（波長355nm）、第4高調波（波長266nm）とKrFエキシマレーザ（波長248nm）のレーザ光を選択することができる。また、マスク（図示しない）を必要に応じてガラス基板20近傍の光軸上に入れることによりレーザ光の径あるいはサイズを変更した。

【0029】なお、レーザ光源12は高エネルギービームを発生するので、安全確保のため、遠隔操作可能とし、レーザ光源12への電源・冷却水供給装置14をリモートコントローラ16により操作する。特に図示していないが、レーザ光源12自身もシャッタを内蔵し、これも遠隔操作が可能である。またガラス基板20を透過したレーザ光はビームダンパ18で吸収する。

【0030】加工しきい値の測定は、以下のように行った。レーザ光源12としてはNd:YAGレーザの波長266nm（第4高調波）および355nm（第3高調波）の紫外光を用いた。このレーザの繰り返し周波数は20Hzで、パルス幅は5~8nmとした。レーザ光は焦点距離100mmのレンズ（図示しない）で集光し、ステージ24上の基板ホルダー22に固定したガラス基板20に照射した。照射時間は照射シャッタ30で制御し、2秒とした。

【0031】レーザ光のエネルギーは照射シャッタを閉じた状態で、パワーメータ40をレーザ光の光路に入れて測定した。このエネルギーをアッテネータ50で変えてガラス基板20に照射し、アブレーションが起こる限界のエネルギーを求め、加工しきい値とした。なお、以下の実施例の試験はチタン（Ti）を25mol%程度含有する珪酸塩系ガラスで、加工しきい値がレーザ光パルス当たり 1.0 J/cm^2 以下のガラス基板について行った。

【0032】【実施例1】基板ホルダー22をレーザ光



10の光軸に対して垂直な方向から一定角度 θ だけ傾けておくことによって、ガラス基板20の厚み方向に対して角度を持った斜め孔を作製した。試料を傾ける角度 θ を調整することによって、斜め孔の角度を調整することができる。

【0033】厚み0.3mmのガラス基板20をレーザー光10の光軸に対する傾斜角 $\theta=15$ 度に固定し、レーザー光の単位面積当りの照射エネルギーを一定(8 J/cm^2)とした場合に形成された貫通孔60の断面図および平面図を模式的に図2に示す(基板の厚みに比べて孔径を実際より大きな倍率で示している)。

【0034】なお、レーザー光10の基板表面でのビーム径は約 $100\text{ }\mu\text{m}$ とした。孔を基板表面(レーザー光源12に対向する面)20aおよび基板裏面20bにおける孔60a、60bの形状は略円形であり、基板表面20aから裏面20bに至る間で、基板面に平行に切った孔断面の形状も略円形である。断面の面積はガラス基板の表面に比べて裏面側で小さくなっており、深さ方向に対して徐々に減少するテーパ状を呈している。


【0035】レーザー光照射を貫通前に停止すれば、図3のような窪み70が形成できる。窪み70の底面70dは図示するように凹状曲面となるが、底面近傍までは貫通孔の場合と同様な断面が略円形の孔が形成される。

【0036】レーザー光としてNd:YAGの第3高調波、第4高調波、KrFのいずれを用いた場合も作製することができた。レーザー光の照射角度、照射パワーを一定にして加工することにより、形成される孔の断面形状は貫通孔の場合は全体にわたって相似な形状となり、窪みの場合は底面近傍まで相似形となる。また断面の面積は基板の深さ方向に向かって徐々に減少するテーパを有する孔となる。

【0037】レーザービームの光軸に垂直な断面は特別な処理をしない場合、ほぼ円形であるので、傾斜角が小さければ、形成される孔の断面はほぼ円形となる。その中心を結ぶ線80は図示するように直線で照射したレーザー光の方向に対応して基板表面に対してほぼ θ の角度をもつ。

【0038】[実施例2] レーザ光としてNd:YAGの第3高調波、第4高調波を用い、加工中にレーザー光の照射パワーをアッテネータ50を用いて変えて加工を行った。加工中、ステージ24は固定し、レーザー光源12とガラス基板20の距離は一定とした。単位面積当りの照射エネルギーの初期値を 15 J/cm^2 とし、時間とともに減少させて孔の貫通時に 5 J/cm^2 となるように連続的に変化させた。照射パワーの減少に伴い、レーザー光のビーム径も減少する。

【0039】このような条件下では、照射パワーが一定の場合に比べて大きな約 10° のテーパ角をもつ貫通孔が得られた。加工部分が基板を貫通する前にレーザー光照射を停止すれば、同様な窪みを形成できる。



【0040】レーザー光の照射パワーの変化率を変えることにより、貫通孔または窪みの側壁面のテーパ角は変更可能であった。なお、テーパ角とは孔壁面のガラス基板表面の法線に対する角度であり、テーパ角 $=0^\circ$ は、ガラス表面に対して垂直な壁面を有する孔を意味する。その他の特徴は実施例1と同様であった。

【0041】なお、上記の例では照射パワーを連続変化させたが、階段状に変化させることもできる。一定照射パワーで一定時間照射した後、照射を停止し、照射パワーを変更して再度照射を行うことを繰り返すことによってテーパ状の孔あるいは内壁が階段状になった孔を作製できる。

【0042】[実施例3] レーザ光としてNd:YAGの第3高調波、第4高調波を用い、加工中にレーザー光10の、光軸方向と平行にステージ24を移動させ、レーザー光源12とガラス基板20の距離Lを変えることによって、ガラス基板20に照射されるレーザー光の径を変え、貫通孔もしくは窪みを作製した。レーザー光の照射パワーは加工中一定とした。

【0043】試料をレンズで絞った際にできるビームウエストよりも手前に置いたので、光源と被照射面の距離Lが大きくなるにつれ、単位面積当りの照射エネルギーが増加し、照射面積は減少する。

【0044】加工開始時のレーザー光源12とガラス基板20の距離を $L=95\text{ mm}$ とし、貫通時に 100 mm になるように調整した。単位面積当りの照射エネルギーの初期値を 8 J/cm^2 とした。

【0045】このような条件下では、照射パワーが一定の場合に比べて大きな約 10° のテーパ角をもつ貫通孔または窪みが得られた。ステージ24を移動させる速さを変化させることで、ここで作製した貫通孔または窪みにできたテーパ角の角度は変更可能であった。さらに距離を断続的に変化させることも可能である。

【0046】[実施例4] 加工中にレーザー光に対するマスクの開口面積を徐々に変えていくことによって、試料に照射されるレーザー光の径を変え、加工される部位の大きさを変更して、貫通孔もしくは窪みを作製した。レーザー光としてNd:YAGの第3高調波、第4高調波を用い、マスクの前での照射パワー、レーザー光源12とガラス基板20の距離Lは加工中一定とした。マスクの開口の大きさは機械的に絞りを定めることで変化させた。変化の速さを変えることで、貫通孔または窪みにできたテーパ角は変更可能であった。

【0047】[実施例5] 図1に示すレーザー光照射装置1において、ステージ24の替わりに図4に示すようなステージ26を用いて加工を行った。このステージ26上に回転駆動機構27を設け、回転軸28に基板ホルダー22を取り付ける。基板ホルダー22は回転軸28に対して傾斜して固定することができる。

【0048】図4に示している状態では、レーザー光10

の光軸方向に平行に回転軸 28 を設定し、この回転軸 28 に基板ホルダー 22 を傾斜させて取り付けである。この状態では、レーザ光 10 はガラス基板 20 に対して角度をもち、回転軸を回転させると、基板に対して軸対称なあらゆる方向から照射される。

【0049】この方法により、基板ホルダー 22 の傾斜角に依存した頂角をもつ円錐形の部位が除去された貫通孔または窪みが作製できる。レーザ光として Nd:YAG の第 3 高調波、第 4 高調波を用いた。

【0050】なお、ステージ 26 は基板位置をレーザ光 10 の光軸に平行な方向に動かすことができるとともに、回転軸 28 をレーザ光 10 の光軸に対して傾斜させる機構 29 も備えている。レーザ光 10 の光軸と回転軸 28 を傾斜させることにより、中心軸が基板表面の法線に対して傾斜した円錐状の貫通孔または窪みも形成できる。

【0051】【実施例 6】実施例 5 で用いた方法により、貫通孔の径が孔の途中で極小になりまた径が増加していくという、くびれがある構造を作製した。上記実施例のガラス基板よりも厚いガラス基板 21 を用いて、レーザ光 10 が回転軸 28 の回転中心 61a とレーザ光 10 の交点 61b がガラス基板内部になるようにすることで、図 5 に示すようなくびれ 61c がある貫通孔 61 を作製できた。

【0052】また、回転中心 62a とレーザ光 10 の交点 62b がガラス基板の上部（レーザを照射する面側）にあれば、図 6（a）のような深さ方向に広がる形状の孔 62 も作製が可能である。もちろん、窪み 72（図 6（b））の作製も可能である。さらに、レーザ光 10 の光軸と回転軸 28 を傾斜させることにより、断面の中心が基板表面の法線に対して傾斜した孔も形成できる。

【0053】【実施例 7】実施例 6 で用いたガラス基板 21 と同様の基板を用い、まず実施例 5 で得られた円錐形の部位が除去された窪み 63e を作製した後に、ステージの回転を止め、窪みの最下点にレーザ光を照射することにより試料を貫通させ、図 7（a）に示すような漏斗状の構造 63 を作製した。

【0054】漏斗状構造 63 の下部の管 63f の部分が円錐形の窪み部 63e となす角度は、基板ホルダー 22 の傾きを変えることで図 7（b）のように傾斜させることも可能であった。この場合、基板面に平行な孔の断面は基板表面から裏面まで円形であるが、その中心を結ぶ線 83 は途中で屈曲している。基板ホルダー 22 の傾きを徐々に変えることにより中心線 83 の屈曲を滑らかな曲線状にすることもできる。ただしレーザ光 10 を円錐形の窪み 63e の縁に沿った線より傾けて円錐の頂点部分を照射することはできないので、管 63f の傾きは制限される。

【0055】【実施例 8】円形、矩形のマスクをそれぞれ用いて KrF エキシマレーザ光の照射を行い、マスク

の形状を反映したそれぞれ円形、矩形断面をもつ直穴を作製した。図 8 の例は、この方法で矩形の窪み 64e を形成した後、実施例 7 同様に窪みの底面にレーザ光を照射していくことにより試料を円形断面の管 64f で貫通させた構造 64 である。

【0056】実施例 7 同様に管 64f を基板表面の法線に対して傾斜させることは可能である。また管部の加工にもマスクを用いれば、断面を矩形等の形状とすることもできる。

【0057】特開平 11-217237 号公報に示されているのと同様な方法でイオン交換により銀を導入したガラスと本発明によるチタンを含む熔融法により作製されたガラスの比較を行った。

【0058】図 1 に示した装置を用い、単純に板状の試料にレーザ光を照射し続けることによって各ガラス基板に貫通孔を作製し、そのテーパ角を比較したところ、銀を導入したガラスに作製した貫通孔のテーパ角が約 7° であったのに対し、本発明のガラスに作製した貫通孔のテーパ角は 5° と小さくなった。

【0059】なお、この結果はレーザ光として KrF エキシマレーザの波長 248nm を用いたときの値であり、Nd:YAG レーザの第 3 高調波（355nm）、第 4 高調波（266nm）を用いたときも本発明のガラスの方がテーパ角が小さいという結果となった。テーパ角が小さい方がガラス中に 3 次元構造を作製する際にその形状を制御しやすく、本発明のガラスは 3 次元構造を作製するのに適していることが示された。

【0060】本発明により、レーザ光の光軸もしくは試料を移動させることにより、自由度高く 3 次元ガラス構造物を作製することができる。なお、上記の実施例においては加工に用いるガラス基板がチタンを含んでおり、そのため加工しきい値が低く、加工できる形状の自由度が大幅に改善された。

【0061】ただしガラス基板が含有する元素はチタンに限られない。使用するレーザ光の波長である可視域もしくは紫外域の光を吸収する作用のある元素であれば同様な効果が生じる。鉄、バナジウム、ビスマス、鉛、タリウム、スズ、セリウム、ロジウム、コバルト等が有効で、チタンを含め、これらのうちの少なくともいずれか 1 つを含有することが望ましい。

【0062】また、本発明の 3 次元形状を有するガラス構造物は、産業的には、たとえば以下の用途に使用されるが、それらの用途に対して形状自由度の高いガラス製部品を供給できるようになる。

【0063】・光ファイバーを差し込み 2 次元的に配列するための 2 次元孔アレイ。

・インクジェットプリンタのインク噴射用の穴および穴アレイ

・顔料あるいはインクあるいは導電物を含むペーストあるいは有機物を含む溶液を印刷する際のマスク

- ・電気配線をガラス基板を貫通させて行なう際の配線用の穴
- ・化学分析用ガラスチップ
- ・X線用コリメータ
- ・光部品（回折格子、回折光学素子あるいはレンズ）形成用の金型
- ・固体、液体あるいは気体用のフィルタ
- ・触媒（金属など）を保持するための担体
- ・光の光路制限用の絞り

【0064】

【発明の効果】本発明によれば、イオン交換せずに熔融時にガラス中に導入でき、且つ、レーザ光エネルギーを吸収して加工しきい値を低くするような元素を均一に含んだレーザ加工用ガラスを被加工物とするので、ガラスの内部においても良好な加工性が得られ、その結果、ガラス内部においても形状制御性がよくなり、3次元的に自由度の高いガラス加工物が得られるようになる。また、本発明の製造方法によれば、3次元的に照射するレーザ光のエネルギーを制御できるので、所定の3次元形状を有するガラス構造物が容易に制御性良く製造できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 レーザ光照射装置の構成を示す模式図である。

【図2】 本発明の実施例1における貫通孔を形成した

ガラス構造体を示す模式図である。

【図3】 本発明の実施例1における窪みを形成したガラス構造体を示す模式図である。

【図4】 レーザ光照射装置用ステージの変形例を示す模式図である。

【図5】 本発明の実施例6におけるガラス構造体の形態を示す模式図である。

【図6】 本発明の実施例6におけるガラス構造体の他の形態を示す模式図である。

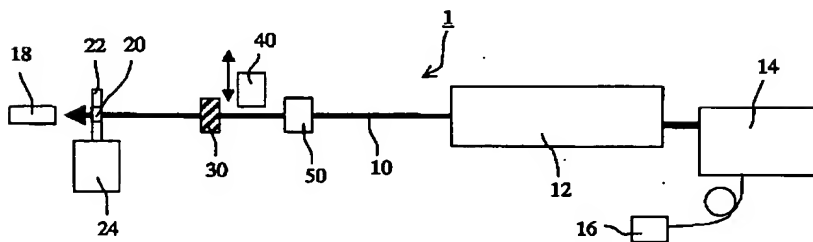
【図7】 本発明の実施例7におけるガラス構造体の形態を示す模式図である。

【図8】 本発明の実施例8におけるガラス構造体の形態を示す模式図である。

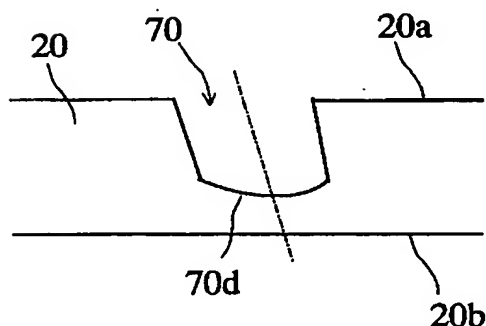
【符号の説明】

- 1 レーザ光照射装置
- 10 レーザ光
- 12 レーザ光源
- 20、21 ガラス基板
- 22 基板ホルダー
- 24、26 ステージ
- 28 回転軸
- 30 シャッター
- 50 アッテネータ
- 60、61、62、63、64 貫通孔
- 70、72 窪み

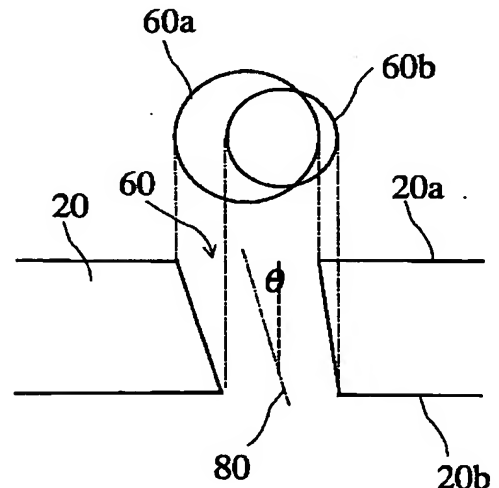
【図1】



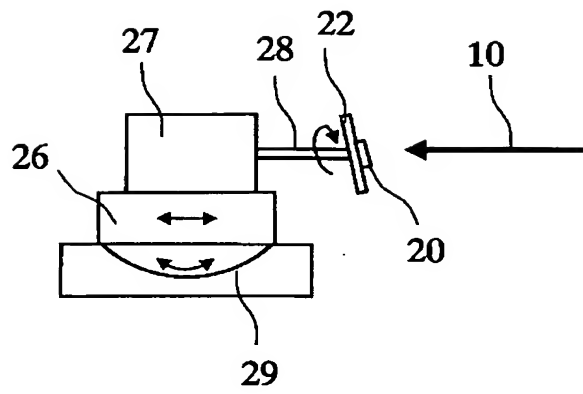
【図3】



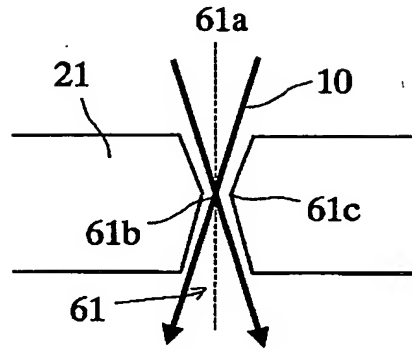
【図2】



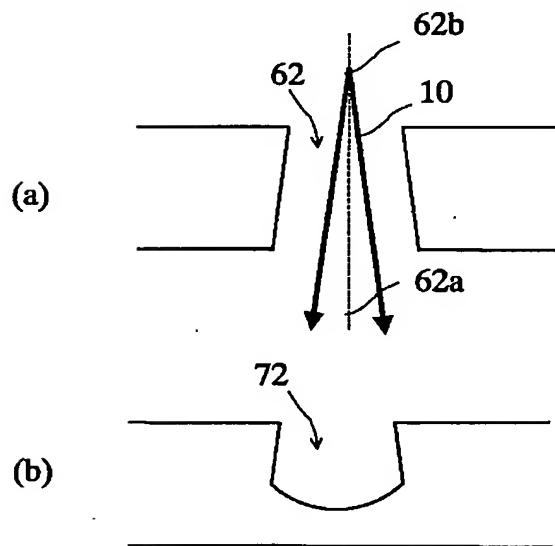
【図 4】



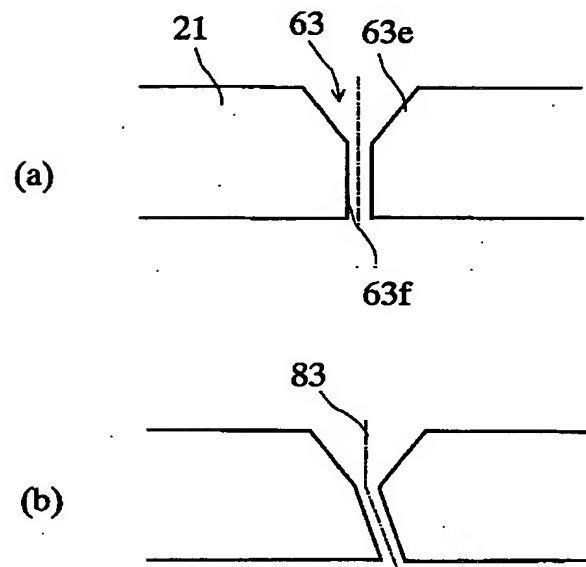
【図 5】



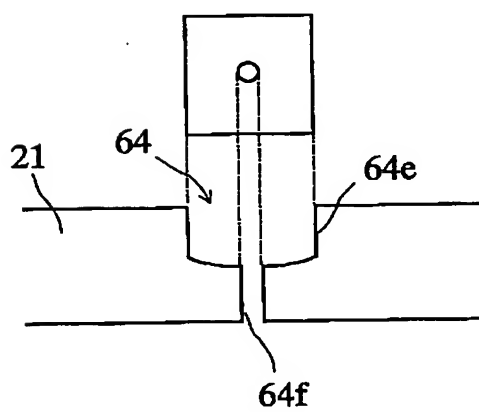
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4E068 AC01 CA02 CA07 CA08 CA12
CD07 CD10 CE04 DB13
4G015 AB02 AB03 FA07 FC01
4G062 AA04 BB20 MM02 NN01 NN13
NN40